

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

6)

(11)Publication number : 2002-167647

(43)Date of publication of application : 11.06.2002

(51)Int.Cl.

C22C 38/00

C21C 7/00

C22C 38/14

C22C 38/34

(21)Application number : 2000-359368

(71)Applicant : SUMITOMO METAL IND LTD

(22)Date of filing : 27.11.2000

(72)Inventor : NISHI TAKAYUKI

(54) Si KILLED STEEL HAVING EXCELLENT FATIGUE STRENGTH AND ITS PRODUCTION METHOD

(57)Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide Si killed steel in which the content of harmful large-sized inclusions is low, and, further, the remaining inclusions are ductile and finely dispersed ones, and which has excellent fatigue strength, and to provide its production method.

SOLUTION: The Si killed steel contains, by mass,  $\leq 0.003\%$  Al,  $\leq 0.003\%$  Ti,  $\leq 0.0010\%$  Zr and 0.05 to 4.0% Si. Also, as the inclusions in the Si killed steel,  $\text{SiO}_2$  of  $\leq 45\%$  and 0.5 to 10% the oxide (R2O) of alkali metals R (R=Na, K and Li) are contained.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.06.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 08.03.2005

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2005-06075

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 07.04.2005

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## CLAIMS

## [Claim(s)]

[Claim 1] It is less than [ aluminum:0.003% ], less than [ Ti:0.003% ], less than [ Zr:0.0010% ], and Si killed steel contained Si:0.05 to 4.0% in mass %, and the inclusion in this Si killed steel is SiO<sub>2</sub> at mass % : The oxide of 45% or more and alkali-metal R (R= Na, K, Li) (R<sub>2</sub> O): Si killed steel excellent in the fatigue strength characterized by containing 0.5 to 10%.

[Claim 2] said Si killed steel -- further -- C:1.2% or less and Mn: -- Si killed steel excellent in the fatigue strength according to claim 1 characterized by containing O:0.0020% or less 0.20 to 1.50%.

[Claim 3] said Si killed steel -- further -- C:1.2% or less and Mn: -- Si killed steel excellent in the fatigue strength according to claim 1 characterized by containing Cr:0.05 to 2.0% O:0.0020% or less 0.20 to 1.50%.

[Claim 4] said Si killed steel -- further -- C:0.15% or less, Mn:0.1-2.0%, and Cr: -- Si killed steel excellent in the fatigue strength according to claim 1 characterized by containing O:0.0080% or less 4 to 20%.

[Claim 5] It is the approach of manufacturing Si killed steel according to claim 1 to 4. Si deoxidation is performed when carrying out tapping to a ladle from a refining furnace. The slag presentation at the time of subsequent ladle slag refining by mass % CaO:20-45%, SiO<sub>2</sub> : 25 - 60%, MgO:5-18%, aluminum-2O<sub>3</sub> : The oxide of alkali-metal [ 1 - 12%, MnO:0.2-8%, and ] R (R= Na, K, Li) (R<sub>2</sub> O): The manufacture approach of Si killed steel excellent in the fatigue strength characterized by considering as 0.5 - 10%.

R<sub>2</sub>O : 0.5 - 10%

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 1-12%

[Translation done.]

6)

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-167647

(P2002-167647A)

(43) 公開日 平成14年6月11日 (2002.6.11)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 Y 4 K 0 1 3
C 2 1 C 7/00		C 2 1 C 7/00	J
C 2 2 C 38/14		C 2 2 C 38/14	
38/34		38/34	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2000-359368(P2000-359368)

(22) 出願日 平成12年11月27日 (2000.11.27)

(71) 出願人 000002118

住友金属工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 西 隆之

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

住友金属工業株式会社内

(74) 代理人 100081352

弁理士 広瀬 章一

Fターム(参考) 4K013 AA07 BA08 BA14 CF01 CF13

EA01 EA03 EA04

(54) 【発明の名称】 疲労強度に優れたS i 脱酸鋼およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 従来の鋼と比較して、有害な大型介在物が少なく、しかも残留した介在物も延性のある介在物であり、かつその介在物は微細分散されたものであり、疲労強度に優れたS i 脱酸鋼およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 質量%でA l : 0.003%以下、T i : 0.003%以下、Z r : 0.0010%以下およびS i : 0.05~4.0%含有するS i 脱酸鋼であって、かつ該S i 脱酸鋼中の介在物が質量%でS i O<sub>2</sub> : 45%以上、アルカリ金属R (R= N a、K、L i) の酸化物 (R<sub>2</sub> O) : 0.5~10%含有する。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 質量%でAl:0.003%以下、Ti:0.003%以下、Zr:0.0010%以下およびSi:0.05~4.0%含有するSi脱酸鋼であって、かつ該Si脱酸鋼中の介在物が質量%でSiO<sub>2</sub>:45%以上、アルカリ金属R(R=Na、K、Li)の酸化物(R<sub>2</sub>O):0.5~10%含有することを特徴とする疲労強度に優れたSi脱酸鋼。

【請求項2】 前記Si脱酸鋼が、更に、C:1.2%以下、Mn:0.20~1.50%、O:0.0020%以下含有することを特徴とする請求項1に記載の疲労強度に優れたSi脱酸鋼。

【請求項3】 前記Si脱酸鋼が、更に、C:1.2%以下、Mn:0.20~1.50%、O:0.0020%以下、Cr:0.05~2.0%含有することを特徴とする請求項1に記載の疲労強度に優れたSi脱酸鋼。

【請求項4】 前記Si脱酸鋼が、更に、C:0.15%以下、Mn:0.1~2.0%、Cr:4~20%、O:0.0080%以下含有することを特徴とする請求項1に記載の疲労強度に優れたSi脱酸鋼。

【請求項5】 請求項1~4のいずれかに記載のSi脱酸鋼を製造する方法であって、精錬炉から取鋼に出鋼するときにSi脱酸を行い、その後の取鋼スラグ精錬時のスラグ組成を質量%でCaO:20~45%、SiO<sub>2</sub>:25~60%、MgO:5~18%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:1~12%、MnO:0.2~8%、アルカリ金属R(R=Na、K、Li)の酸化物(R<sub>2</sub>O):0.5~10%とすることを特徴とする疲労強度に優れたSi脱酸鋼の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、従来の鋼と比較して、有害な大型介在物が少なく、しかも残留した介在物も延性のある介在物であり、かつその介在物は微細に分散されたものであり、疲労強度に優れたSi脱酸鋼およびその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】Si脱酸鋼は、Siが鋼材としての必要成分であると同時に、溶鋼中での酸素との親和力が大きく鋼を脱酸する機能を有することから、強脱酸元素を含有しない鋼に脱酸材として広く用いられている。

【0003】一般にSi脱酸鋼は、鋼中のSi濃度がAl脱酸鋼のAl濃度と比較して数倍ないし数十倍高い。また、Si脱酸鋼は、Al脱酸鋼よりも全酸素濃度が高くなるが、介在物組成の制御が可能であるという利点がある。この利点を生かして、疲労強度向上に有害な介在物の生成を抑制することが広く行われている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】例えば、特公昭54-7252号公報には、線材用高炭素Si脱酸鋼中のSi

O<sub>2</sub>-MnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系の3元系非金属介在物を低融点のスベサタイト領域に制御する技術が開示されている。この技術は、介在物を低融点化することにより、熱間圧延段階での介在物の伸展性を向上させ、線材加工時の伸線性を良好にするものである。しかしながら、この技術は全酸素濃度が高く介在物量が多いという問題がある。

【0005】また、特公昭58-56021号公報には、線材用の高炭素Si脱酸鋼中の全酸素濃度が5.0重量ppm以下、非粘性介在物インデックスが15以下、および介在物組成が硬度の低いロードナイト質を含む複合酸化物からなることを特徴とする清浄鋼が開示されている。しかしながら、この発明でのSi脱酸鋼中の全酸素濃度は30~45ppmと高い水準にとどまっている。

【0006】さらに、特公平6-74484号公報には、介在物を無害化するという観点から介在物の長さ(1)と幅(d)のアスペクト比(1/d)が5以下で、組成がSiO<sub>2</sub>:20~60%、MnO:10~80%、およびCaO:50%以下、MgO:15%以下の介在物であることを特徴とする冷間加工性および疲労特性に優れた高清浄鋼が提案されている。また、特公平6-74485号公報には、同じアスペクト比で、組成がSiO<sub>2</sub>:35~75%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:30%以下、CaO:50%以下、MgO:25%以下からなる介在物であることを特徴とする冷間加工性および疲労特性に優れた高清浄鋼が提案されている。これらは、熱間圧延で残存している介在物であっても、その段階での形状と組成を限定することにより、大型の有害介在物が存在する割合を小さくする技術と言える。しかしながら、これらの技術は、介在物低減には限界があり、疲労特性の向上にも限界があった。

【0007】特公平4-8499号公報には、介在物をさらに延性なものとする方法として、全酸素量、非粘性介在物インデックスを規定し、さらに介在物成分のうちSiO<sub>2</sub>、MnO、MgO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、TiO<sub>2</sub>組成を限定するとともに、さらにその他酸化物としてV、Ba、Zr、Naの酸化物および不可避免的に混入する酸化物を5%以下に制御した技術が提案されている。この技術は、非粘性介在物組成を制御するために全酸素濃度を15ppm以上とする必要があるため、介在物量そのものを減じる、あるいは微細化するという機能はない。

【0008】特許2654099号公報には、Si脱酸剤とアルカリ金属化合物を添加することにより、脱酸生成物をアルカリ金属含有組成にコントロールする清浄鋼の製造法が開示され、この方法によれば介在物にアルカリ金属化合物量を4~24%含有させることにより、7.5μm以上の大型介在物量を減少させることができるとしている。この大型介在物が減少する理由は、アル

カリ金属化合物によるアルミナ系およびシリカ系介在物の延性化により圧延過程で微細化されるためである。しかしこの方法では、脱酸生成物に起因する介在物の組成制御が考慮されていないことから、より有害なアルミナ系介在物そのものを減ずるものではなく、しかもこれは安定な酸化物であるため、容易には組成変化し難く、したがって非延性な組成で残存するおそれがある。また、この方法はアルカリ金属化合物を直接溶鋼に添加するので、アルカリ金属の蒸発やそれによる発煙といった製造法上の問題が避けられない。

【0009】本発明は、従来の鋼と比較して、有害な大型介在物が少なく、しかも残留した介在物も延性のある介在物であり、かつその介在物は微細に分散されたものであり、疲労強度に優れたS i 脱酸鋼およびその製造方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明者は、有害な大型介在物の生成を抑制する等の検討を重ねた結果、下記の知見を得た。

【0011】(A) 大型介在物の生成を防ぐには、介在物量を抑制するとともに介在物を微細に分散させることが有効である。微細な介在物が安定であるためには、溶鉄との界面エネルギーが低いものが望ましく、介在物中のFeO、MnO濃度が高いものが良いと推察される。しかしながら、介在物中でのこれらのFeO、MnO濃度が高くなると、溶鋼中の酸素ポテンシャルが高くなり、介在物量の増加をまねくという問題を生じる。

【0012】(B) 延性のある介在物とするには、S i O<sub>2</sub> を基本組成とする必要があるので、S i O<sub>2</sub> が主体の介在物で、それら介在物の微細化を図るために、アルカリ金属：R (R= Na、K、Li) の酸化物 (以下、R<sub>2</sub> Oともいう) を含有させればよいと着想した。

【0013】すなわち、S i O<sub>2</sub> 系介在物にR<sub>2</sub> Oが含まれている状態は、FeOやMnOが含まれている状態に比べて溶鋼温度域で熱力学的により安定であり、溶鋼との平衡酸素ポテンシャルが低い。一方、CaO、Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> およびMgOと比較すると、R<sub>2</sub> Oは溶鋼温度域で熱力学的により不安定であるため、S i O<sub>2</sub> 系介在物にR<sub>2</sub> Oが含まれている状態は、S i O<sub>2</sub> 系介在物にCaO、Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> およびMgOが含まれている状態と比較して溶鋼との反応性が高くなるため、界面エネルギーが低くなる。この界面エネルギーの低下効果により、R<sub>2</sub> Oが含まれているS i O<sub>2</sub> 系介在物は微細化が可能となる。この結果、介在物起因の疲労強度の低下要因が低減され、疲労強度に優れたS i 脱酸鋼が得られる。

【0014】(C) このような良好な介在物を含有するS i 脱酸鋼は、取鋼精錬におけるスラグ組成を適正な組成に制御することにより得られる。本発明は、以上の知見に基づいてなされたもので、その要旨は、下記のとおりである。

【0015】(1) 質量%でAl：0.003%以下、Ti：0.003%以下、Zr：0.0010%以下およびS i：0.05~4.0%含有するS i 脱酸鋼であって、かつ該S i 脱酸鋼中の介在物が質量%でS i O<sub>2</sub>：45%以上、アルカリ金属R (R= Na、K、Li) の酸化物 (R<sub>2</sub> O)：0.5~10%含有することを特徴とする疲労強度に優れたS i 脱酸鋼。

【0016】(2) 前記S i 脱酸鋼が、更に、C：1.2%以下、Mn：0.20~1.50%、O：0.0020%以下含有することを特徴とする上記(1)に記載の疲労強度に優れたS i 脱酸鋼。

【0017】(3) 前記S i 脱酸鋼が、更に、C：1.2%以下、Mn：0.20~1.50%、O：0.0020%以下、Cr：0.05~2.0%含有することを特徴とする上記(1)に記載の疲労強度に優れたS i 脱酸鋼。

【0018】(4) 前記S i 脱酸鋼が、更に、C：0.15%以下、Mn：0.1~2.0%、Cr：4~20%、O：0.0080%以下含有することを特徴とする上記(1)に記載の疲労強度に優れたS i 脱酸鋼。

【0019】(5) 上記(1)~(4)のいずれかに記載のS i 脱酸鋼を製造する方法であって、精錬炉から取鋼に出鋼するときにS i 脱酸を行い、その後の取鋼スラグ精錬時のスラグ組成を質量%でCaO：20~45%、S i O<sub>2</sub>：25~60%、MgO：5~18%、Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>：1~12%、MnO：0.2~8%、アルカリ金属R (R= Na、K、Li) の酸化物 (R<sub>2</sub> O)：0.5~10%とすることを特徴とする疲労強度に優れたS i 脱酸鋼の製造方法。

【0020】

【発明の実施の形態】介在物中の(S i O<sub>2</sub>)濃度が45質量% (以下、単に%で質量%を表す) 以上であれば、非延性で有害なAl<sub>2</sub> O<sub>3</sub> 系介在物、MgO・Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub> 系介在物およびMgO系介在物の生成確率は確実に減少する。望ましい介在物中の(S i O<sub>2</sub>)濃度は70%以上である。

【0021】このように介在物中の(S i O<sub>2</sub>)濃度が45%以上と高い介在物は、圧延長手方向に著しく延伸した形状ではないが、オーバルな鋭角のない形状であり、微細である限りにおいては、疲労強度に悪影響を及ぼしにくい。

【0022】しかしながら、単に(S i O<sub>2</sub>)濃度が高い介在物が主体となった場合、これが10μm以上の幅を有する大きなものであれば、疲労強度に悪影響を及ぼす可能性が高い。また、(S i O<sub>2</sub>)濃度が高い介在物組成に制御すること自体は、介在物径を減少させる効果はないし、また、(S i O<sub>2</sub>)濃度が極端に高い介在物は熱間圧延加工での延伸効果が期待できず、10μm以上の幅を有する介在物が圧延加工後でも存在する確率が高い。

【0023】そこで、この $10\mu\text{m}$ 以上の幅を有する $\text{SiO}_2$ 系介在物の生成を防ぐために、介在物を微細に分散させる条件について、脱酸過程での溶鋼-酸化物間の界面エネルギーから検討すると、 $\text{Si}$ 脱酸鋼で一般的な $\text{SiO}_2-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 系介在物よりも、 $\text{FeO}$ や $\text{MnO}$ 濃度の高い介在物の方が微細に分散させるのに有利となる。

【0024】しかしながら、 $\text{FeO}$ や $\text{MnO}$ 濃度の高い介在物を生成させるには、溶鋼中の $\text{Si}$ 濃度を低く抑える必要があり、多くの $\text{Si}$ 脱酸鋼には適用できず、また

【0025】そこで、 $\text{SiO}_2$ 系介在物に、介在物を微細に分散させるのに有利になると考えられる強塩基性のアルカリ金属酸化物( $\text{R}_2\text{O}$ 、 $\text{R}=\text{Li}$ 、 $\text{Na}$ 、 $\text{K}$ )を含有させることを前述の通り着想した。

【0026】以下に、この着想を確認するために実施した模擬実験結果を示す。取鍋スラグ精錬を模擬することができる雰囲気調整炉を用いて、種々の $\text{Si}$ 脱酸鋼を $1500\sim 1560^\circ\text{C}$ で溶解した。

【0027】溶鋼を $[\text{C}]:0.70\%$ 、 $[\text{Mn}]:0.25\%$ にそれぞれ成分調整後、所定成分のスラグを添加し、取鍋スラグ精錬を行い、溶鋼温度を $1500\sim 1560^\circ\text{C}$ に保持した後、スラグが混入しないように炉を傾動して得られた溶鋼を鋳造した。このようにして得られた鋼塊(大きさ: $220\text{mm}\phi\times 500\text{mm}$ 、質量: $150\text{kg}$ )を $65\text{mm}\phi$ まで鍛圧し、さらに $5.5\text{mm}\phi$ まで圧延加工した。

【0028】スラグの生成は、 $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}$ 系を基本とするフラックスを対象溶鋼質量 $\text{kg}$ あたり $15\text{g}$ 使用して行い、スラグ中の $\text{Na}_2\text{O}$ 濃度を $8\%$ とした。

【0029】圧延加工した試料から、長手方向断面に切断、鏡面研磨して、内在する幅 $1\mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物を調査した。調査した酸化物系介在物は、すべて単独または硫化物と複合した形態であり、組成についてはそのうちの酸化物部分をエネルギー分散型X線マイクロアナライザで分析した。

【0030】図1は、鋼中の $[\text{Al}]$ 濃度と介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度との関係を示すグラフである。なお、図中の●値は、観察した介在物( $n=30\sim 40$ )中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度の平均値を、図中のエラーバーは、観察した介在物( $n=30\sim 40$ )中の最大値と最小値をそれぞれ示す(以下の図2~5および8も同様)。

【0031】同図に示すように、鋼中の $[\text{Al}]$ 濃度が $0.003\%$ 以下で介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度が $45\%$ 以上となる。また、鋼中の $[\text{Al}]$ 濃度が $0.001\%$ 以下で介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度が $70\%$ 以上となる。

【0032】図2は、鋼中の $[\text{Ti}]$ 濃度と介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度との関係を示すグラフである。同図に

示すように、鋼中の $[\text{Ti}]$ 濃度が $0.003\%$ 以下で介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度が $45\%$ 以上となる。また、鋼中の $[\text{Ti}]$ 濃度が $0.001\%$ 以下で介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度が $70\%$ 以上となる図3は、鋼中の $[\text{Zr}]$ 濃度と介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度との関係を示すグラフである。

【0033】同図に示すように、鋼中の $[\text{Zr}]$ 濃度が $0.0010\%$ 以下で介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度が $45\%$ 以上となる。また、鋼中の $[\text{Zr}]$ 濃度が $0.0002\%$ 以下で介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度が $70\%$ 以上となる次に、 $[\text{Al}]\leq 0.003\%$ 、 $[\text{Ti}]\leq 0.003\%$ および $[\text{Zr}]\leq 0.0010\%$ である鋼を使用して、 $[\text{Si}]$ 濃度を $0.03\%$ から $4.4\%$ の範囲に調整し、そのときの加工試料中に観察される介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度および( $\text{Na}_2\text{O}$ 濃度)を分析した。

【0034】図4は、鋼中の $[\text{Si}]$ 濃度と介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度との関係を示すグラフである。なお、図中の●は、スラグに $\text{Na}_2\text{O}$ を $8\%$ 配合したときの試験結果を、○は $\text{Na}_2\text{O}$ を無添加としたときの試験結果を、それぞれ示す。

【0035】同図に示すように、スラグに $\text{Na}_2\text{O}$ の添加有無に関係なく、鋼中の $[\text{Si}]$ 濃度が $0.05\sim 4.0\%$ の範囲において、介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度が $45\%$ 以上となる。

【0036】図5は、鋼中の $[\text{Si}]$ 濃度と介在物中の( $\text{Na}_2\text{O}$ )濃度との関係を示すグラフである。なお、図中の●は、スラグに $\text{Na}_2\text{O}$ を $8\%$ 配合したときの試験結果を、□は $\text{Na}_2\text{O}$ を無添加としたときの試験結果を、それぞれ示す。

【0037】同図に示すように、スラグに $\text{Na}_2\text{O}$ を $8\%$ 配合すると、鋼中の $[\text{Si}]$ 濃度が $0.05\sim 4.0\%$ の範囲において、介在物中の( $\text{Na}_2\text{O}$ )濃度が $0.5\%$ 以上となる。

【0038】次に、 $[\text{C}]:0.70\%$ 、 $[\text{Si}]:0.25\%$ 、 $[\text{Mn}]:0.50\%$ 、 $[\text{Al}]:0.0004\%$ 、 $[\text{Ti}]:0.0004\%$ 、 $[\text{Zr}]:0.0001\%$ 以下の鋼組成を有し、かつ介在物中の( $\text{Na}_2\text{O}$ )濃度が $3.2\sim 3.6\%$ を有するものについて、 $\text{SiO}_2$ 濃度が $42\%$ 、 $54\%$ および $75\%$ の3水準の試料を作製し、前記の通り $5.5\text{mm}\phi$ まで圧延加工した。

【0039】図6は、圧延方向断面における介在物の幅の大きさとその度数分布との関係を示すグラフである。なお、図中横軸に記載の例えば $1\sim 2$ とは $1\sim 2\mu\text{m}$ 未満を示し、 $2\sim 4$ とは $2\sim 4\mu\text{m}$ 未満をそれぞれ示す。

【0040】同図に示すように、介在物中の $(\text{SiO}_2)$ 濃度が $42\%$ では、 $\text{Na}_2\text{O}$ を含有していても $8\mu\text{m}$ 以上の介在物が有るのに対し、 $\text{SiO}_2$ 濃度が $54\%$ では、 $8\mu\text{m}$ 未満となり、 $75\%$ では $6\mu\text{m}$ 未満であ

り、介在物が微細化する。

【0041】同様に上記鋼組成で、介在物の組成が( $\text{SiO}_2$ )70%以上で、( $\text{Na}_2\text{O}$ )濃度が0.3%、1.8%、3.6%、9.7%の4水準の試料を作製し、前記の通り5.5mmφまで圧延加工した。

【0042】図7は、介在物中の( $\text{Na}_2\text{O}$ )濃度をパラメータとした圧延方向断面における介在物の幅の大きさとその度数分布との関係を示すグラフである。同図に示すように、介在物中の( $\text{Na}_2\text{O}$ )濃度が0.3%では、8μm以上の介在物が有るのに対し、( $\text{Na}_2\text{O}$ )濃度が1.8%では、8μm未満となり、3.6重量以上%では6μm未満であり、介在物が微細化する。

【0043】さらに、詳しく介在物中のアルカリ金属酸化物の濃度について試験検討したところ、アルカリ金属酸化物の濃度は、0.5%以上で望ましくは3%以上で介在物を微細に分散させる効果が認められた。

【0044】しかし、その介在物を微細に分散させる効果は約10%で飽和する。一方、アルカリ金属酸化物は、溶鋼脱酸が生じるような還元性雰囲気下で分解しやすくなり、その結果、介在物中に約10%を超えるアルカリ金属酸化物を安定して維持させることは困難となる。

【0045】本発明の優れた点は、Si脱酸鋼のSiO<sub>2</sub>系介在物中にアルカリ金属酸化物を含有させれば、さまざまな鋼種に適用が可能となることである。そこで、本発明を使用できる望ましい鋼種について以下に述べる。

【0046】その一には、C:1.20%以下、Mn:0.10%~1.50%、およびO:0.0020%以下の組成を基本とする高炭素Si脱酸鋼が望ましい。C濃度の上限を1.20%とした理由は、1.20%を越えると鋼自体が脆化し加工性が悪化するとともに、アルカリ金属酸化物が溶鋼中の炭素によって分解しやすくなるおそれがあるからである。

【0047】下限は特に限定されるものではないが、鋼材強度を適度に保つには0.05%以上とすることが望ましい。Mn濃度の上限を1.5%とした理由は、Mn濃度が高くなるとSi-Mn複合脱酸の影響が現れ始め、Mn濃度が1.5%を越えると介在物中のMnO濃度が10%を越えて、介在物中のSiO<sub>2</sub>濃度が70%以上となることが困難となるおそれがあるからである。下限は介在物制御の観点から特にないが、鋼材の強度等を鑑みれば、0.20%以上とすることが望ましい。

【0048】O濃度の上限を0.0020%とした理由は、疲労強度の向上には、介在物量が少ないことが望ましいからである。また、上記高炭素Si脱酸鋼に、Crを0.05~2.0%含有させた高炭素Cr含有Si脱酸鋼も望ましい。

【0049】さらに、本発明は、Si脱酸で溶製できるフェライト系、あるいは、オーステナイト系ステンレス

鋼にも適用することができる。これらのステンレス鋼の望ましいCr濃度は4.0~20%である。

【0050】Crが含有されると、Crと酸素の親和力が強く脱酸処理が困難となるおそれがある。脱酸が不足した場合には介在物が多量に残留して、本技術による介在物形態制御をもってしても、疲労強度に影響が出る可能性があることから、全酸素濃度を0.0080%以下にすることが望ましい。

【0051】なお、Cr濃度が8.0%以上では、上記脱酸が不足するのを回避するために、Si濃度が0.10%以上あることが望ましい。C濃度は、加工性と耐食性とを両立させるために、0.15%以下が望ましい。

【0052】Mn濃度は、Si脱酸の予備脱酸機能を持たせるために、また強度を確保するために、0.1%以上が望ましい。一方、Si脱酸・Mn脱酸の複合脱酸効果による介在物中のSiO<sub>2</sub>濃度の低下を防止するためには2.0%以下が望ましい。

【0053】また、Ni濃度については、特に制限はなく、オーステナイト系ステンレス鋼としての特徴を発揮する組成においても本発明は適用できる。さらに、本発明は、Si脱酸鋼で溶製できるVやMoを含む高強度鋼や肌焼き鋼へも適用できる。すなわち、本発明においては脱酸に影響を及ぼさない合金成分、例えばVやMoは通常の鋼成分の範囲であればその効果を発揮することができる。またNi濃度についても特に制限はなく、その効果を発揮することができる。

【0054】次に、介在物組成の制御方法について述べる。介在物組成は、基本的には溶鋼中の脱酸元素濃度およびスラグ組成によって制御することができる。

【0055】スラグ組成はスラグ精錬のタイミング、添加するフラックス組成および量、初期酸素濃度、精錬温度にも影響されるためこれらを考慮する必要がある。Si添加の時期については、転炉あるいは電気炉といった製鋼炉の出鋼前あるいは出鋼硫に対しての添加が望ましい。その理由は、脱酸初期に生成する大型介在物が浮上・除去するためである。

【0056】本発明で対象とするSi脱酸鋼の溶製に際し、製鋼炉からの流出スラグを取鋼中の溶鋼から除滓を行い、あらためて溶鋼中にフラックス添加を行う。ここで最も重要な点は、フラックス添加取鋼精錬におけるスラグ組成である。

【0057】すなわち、この取鋼精錬段階において、 $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-MnO-R}_2\text{O}$  ( $\text{R}=\text{Li, Na, K}$ )系スラグを用いる。スラグ中のCaOは熱的に安定なスラグを構成するための必須成分であり、その濃度は20%以上が望ましいが、45%を越えると、スラグ塩基度が高くなることにより、介在物中のCaO、MgO等の塩基性成分、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 等の中性成分が高い濃度で安定となり、介在物中の(SiO<sub>2</sub>)濃度が45%未満となるおそれがあり45%以下

が望ましい。すなわち、スラグ中の $\text{CaO}$ 濃度は20～45%が望ましい。

【0058】スラグ中の $\text{SiO}_2$ は、 $\text{Si}$ 脱酸鋼を安定に溶製するための必須成分であり、その濃度が25%未満では、介在物中の( $\text{SiO}_2$ )濃度が45%未満となるおそれがあり、60%を越えると取鍋耐火物の溶損が生じるおそれがあるため、スラグ中の $\text{SiO}_2$ 濃度は25～60%が望ましい。

【0059】スラグ中の $\text{MgO}$ は製鋼炉流出スラグ、耐火物や副原料から入る不可避的適成分で極端に低減することはコスト的に困難であり、また耐火物保護の観点からスラグ中の $\text{MgO}$ 濃度は5%以上が望ましいが、 $\text{MgO}$ 濃度が18%を越えると、介在物に $\text{MgO}$ 濃度が50%を越え、非延性介在物が発生するおそれがあり、スラグ中の $\text{MgO}$ 濃度は18%以下が望ましい。すなわち、スラグ中の $\text{MgO}$ 濃度は5～18%が望ましい。

【0060】スラグ中の $\text{Al}_2\text{O}_3$ は製鋼炉流出スラグ、耐火物や副原料から入る不可避的適成分で極端に低減することはコスト的に困難であり、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 濃度が12%を越えると介在物の( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )濃度が30%を越え、非延性介在物が発生するおそれがあるため、スラグ中の $\text{Al}_2\text{O}_3$ 濃度は1～12%が望ましい。

【0061】スラグ中の $\text{MnO}$ は製鋼炉流出スラグ、合金成分の脱酸から入る不可避的成分で極端に低減することはコスト的に困難であり、 $\text{MnO}$ 濃度が8%を越えると全酸素濃度を下げることが困難となり、介在物量そのものが増加するおそれがあるため、スラグ中の $\text{MnO}$ 濃度は0.2～8.0%が望ましい。

【0062】スラグ中の $\text{R}_2\text{O}$ は、スラグ中に0.5%以上含有させることが望ましいが、 $\text{R}_2\text{O}$ 濃度が10%を越えるとスラグ中であっても蒸発し易くなり、その蒸発量が増加してダスト量が増加する等の問題が発生するおそれがあり、スラグ中の $\text{R}_2\text{O}$ 濃度は0.5～10%が望ましい。

【0063】 $\text{R}_2\text{O}$ 原料の代表例である $\text{Na}_2\text{O}$ 原料は、熱的に安定でコスト的にも有利な珪酸ソーダ、メタ珪酸ソーダ、ソーダ灰、ソーダガラス等が望ましい。 $\text{R}_2\text{O}$ 原料の添加時期は特に制限はないが、スラグへの速やかな溶解を図るため、添加フラックスとの同時添加、または造滓後スラグへの $\text{R}_2\text{O}$ 原料の個別添加が望ましい。

【0064】スラグ精錬段階における $\text{R}_2\text{O}$ の過大な蒸発を抑制するには、溶鋼温度を低くすることが有効であり、スラグ精錬時の溶鋼温度を1600℃以下とすることが望ましい。

【0065】なお、 $\text{CaF}_2$ の併用は、通常、スラグの滓化性を改善する効果が期待できるので必要に応じて使用すればよいが、本発明の効果に影響を及ぼさないため、 $\text{CaF}_2$ の濃度範囲を特に限定しない。

【0066】また、不可避的成分としてスラグに含有さ

れる $\text{FeO}$ 濃度またはステンレス溶製時におけるスラグ中の $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 濃度は、スラグからの溶鋼再酸化を防ぐ観点から極力低いことが有効であるが、それらの合計濃度で5%以下とすることが望ましい。

【0067】次に、本発明のスラグ精錬の実施形態について、転炉(または電気炉)→取鍋精錬プロセスを模擬した実験に沿って述べる。通常、 $\text{Si}$ 脱酸鋼は、転炉あるいは電気炉によって所期の目的炭素濃度および温度になるように酸素吹精された後、取鍋へ出鋼される。出鋼時、 $\text{Fe-Si}$ 等の $\text{Si}$ 源を $\text{Fe-Mn}$ 等の $\text{Mn}$ 源とともに添加することにより $\text{Si}$ 脱酸される。

【0068】この $\text{Si}$ 脱酸出鋼時の流出スラグを極力抑制し、出鋼後に取鍋中の残滓を除去した後に所定組成のフラックスを添加して造滓する。本発明は、この取鍋スラグ精錬によって、 $\text{Si}$ 脱酸鋼中の介在物における( $\text{SiO}_2$ )濃度および( $\text{R}_2\text{O}$ )濃度を制御するものであり、前に述べたように本発明の $\text{R}$ は $\text{Li}$ 、 $\text{Na}$ 、 $\text{K}$ でありこれらの効果は等価として扱えることから、( $\text{Na}_2\text{O}$ )濃度を制御する方法について以下に説明する。

【0069】取鍋スラグ精錬機能を模擬した溶鋼量15kgの試験装置により、溶鋼組成としては、 $\text{C}$ :0.45～0.55%、 $\text{Mn}$ :0.20～0.30%を含む $\text{Si}$ 未添加鋼を1520～1560℃で溶解した。ここで出鋼を模擬して $\text{Si}$ および $\text{Mn}$ 添加を行い、最終的に $\text{Si}$ :0.20～0.30%および $\text{Mn}$ :0.45～0.55%になるよう調整する。所定時間保持した後、種々の組成に配合した合成スラグを添加した後、さらに所定時間保持し、ポンプサンプラーで溶鋼から採取した試料中の介在物組成とスラグ組成との関係を調査した。

【0070】スラグの基本成分としては、 $\text{CaO-SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MgO}-\text{CaF}_2$ として、そこに $\text{Na}_2\text{O}$ はその炭酸塩の試薬で配合した。図8は、 $\text{CaO}$ :33～40%、 $\text{SiO}_2$ :33～40%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ :2～5%、 $\text{MgO}$ :12～15%、残部に $\text{CaF}_2$ :2～5と不可避的に含まれる $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$ およびその他不純物を含有するスラグ中の $\text{Na}_2\text{O}$ 濃度と介在物中の $\text{Na}_2\text{O}$ 濃度との関係を示すグラフである。

【0071】同図に示すように、スラグ中の $\text{Na}_2\text{O}$ 濃度の上昇とともに介在物中の( $\text{Na}_2\text{O}$ )濃度も上昇し、その効果は10%で飽和する。また、この試験の際、10%を越えて配合すると、スラグからの蒸発物が著しく増加することが認められた。

【0072】このように、この取鍋スラグ精錬によって、 $\text{Si}$ 脱酸鋼中の介在物における( $\text{R}_2\text{O}$ )濃度を任意に制御することができる。

【0073】

【実施例】80t転炉で脱炭精錬を行った後、取鍋へ出鋼する際に、 $\text{Fe-Si}$ および $\text{Fe-Mn}$ 等の合金鉄および加炭剤を適宜添加し、 $\text{Si}$ 脱酸および成分の調整を行った。この際、後のスラグ組成制御をより効率良く行



うために、流出スラグを極力防止し、さらに、スラグドラッガーで除滓を行った。

【0074】その後あらためて造滓のためのフラックスを添加し、所要の組成を有するスラグを形成せしめた。フラックスとしては、製鋼で一般に用いられる生石灰(CaO源)、珪砂(SiO<sub>2</sub>源)、ドロマイト(MgOおよびCaO源)、蛍石(CaF<sub>2</sub>)等を適宜添加した。

【0075】また、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeOおよびMnO成分は、残存スラグ、耐火物および脱酸生成物に由来し上記スラグ中に混入した。ここで、スラグ中へのR<sub>2</sub>O源としては、Li<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>OおよびK<sub>2</sub>Oがほぼ等価な機能を有していることから、製鋼プロセスで利用しやすく工業的規模の入手が可能なNa<sub>2</sub>Oを含有する珪酸ソーダを用いた。スラグ量は、溶鋼質量トン当たり約15kgとなるようにした。この取鍋精錬時の温度は、1500℃～1600℃の範囲であった。

【0076】上記条件下のスラグ精錬を約10分間以上実施した後、スラグが均一になった状態でスラグを採取し組成を調べた。スラグ精錬をさらに約5分間以上実施した後、常法にしたがい連続鋳造を行い、得られた鋳片を常法にしたがい圧延を施し、5.5mmφの線材を得た。線材の長手方向断面に観察される介在物を無作為に20個以上選び、その組成をエネルギー分散型のX線マイクロアナライザーで調べ、その平均値を比較した。

【0077】上記の方法により種々の組成を有する鋼材を製造し、これらの圧延試料を用いて回転曲げ疲労試験(10<sup>7</sup>回転曲げ試験)を行った。各試料は、鋼種ごとに焼き入れ焼き戻し等の同じ熱処理を施した。疲労強度の評価は、温度は20～25℃、湿度50～60%の条件下試験を行った。

【0078】(実施例1)表1に高炭素Si脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0079】

【表1】

No.	化学組成 (質量%)							介在物組成 (質量%)				疲労強度 (MPa)	
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	0	その他	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O		その他
本発明例	1	0.80	0.25	0.50	0.0002	0.0003	0.0001	-	0.0013	-	76	8.2	1132
	2	0.80	0.25	0.49	0.0003	0.0004	<0.0001	-	0.0014	-	72	4.6	1160
	3	0.79	0.24	0.50	0.0002	0.0020	0.0002	-	0.0013	-	71	1.1	1154
	4	0.80	0.25	0.48	0.0013	0.0004	0.0001	-	0.0014	-	47	3.2	1023
	5	0.81	0.26	0.49	0.0003	0.0005	<0.0001	-	0.0014	-	58	9.6	1042
比較例	6	0.80	0.25	0.50	0.0032	0.0005	0.0001	-	0.0016	0.1Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =31%	34	-	780
	7	0.80	0.25	0.49	0.0003	0.0031	<0.0001	-	0.0017	0.1Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =37%	37	-	770
	8	0.79	0.24	0.50	0.0002	0.0001	0.0011	-	0.0018	0.1ZrO <sub>2</sub> =24%	35	0.1	720
	9	0.81	0.26	0.49	0.0003	0.0006	<0.0001	-	0.002	0.1CaO=40%, MgO=21%	44	0.1	746
	10	0.80	0.25	0.50	0.0041	0.0003	0.0001	-	0.0023	0.2CaO=51%, MgO=19%	47	0.2	719

【0080】表1に示すように、高炭素Si脱酸鋼の化学組成がAl≤0.003%、Ti≤0.003%およびZr≤0.0010%でSiが0.05～4.0%で、かつ介在物中のSiO<sub>2</sub>濃度が4.5%以上、Na<sub>2</sub>O濃度が0.5～10%である試料No.1～5の本発明例は疲労強度が1023MPa以上と大きな値が得られたが、No.6～10の比較例は疲労強度が780MPa以下と比較的に小さな値しかえられなかった。

【0081】(実施例2)表2に高炭素Cr含有Si脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0082】

【表2】

13

	化学組成(質量%)										介在物組成(質量%)			疲労強度 (MPa)
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	0	その他	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	その他		
本発明例	11	0.50	1.40	0.80	0.0005	0.0006	0.0001	0.75	0.0013		81	1.0		1320
	12	0.49	1.41	0.81	0.0006	0.0006	0.0001	0.74	0.0014		71	3.4		1321
	13	0.48	1.42	0.80	0.0007	0.0006	0.0001	0.75	0.0013		78	8.1		1324
	14	0.50	1.41	0.81	0.0012	0.0009	0.0001	0.74	0.0014		52	2.3		1224
	15	0.51	1.40	0.79	0.0008	0.0011	0.0001	0.72	0.0013		56	9.1		1248
比較例	16	0.50	1.39	0.80	0.0033	0.0006	0.0001	0.72	0.0016		36	0.1Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =31%		1014
	17	0.49	1.41	0.81	0.0006	0.0031	0.0001	0.74	0.0018		41	0.2Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =37%		1040
	18	0.48	1.42	0.80	0.0007	0.0006	0.0010	0.75	0.0017		35	0.1ZrO <sub>2</sub> =24%		1038
	19	0.49	1.43	0.79	0.0005	0.0006	0.0001	0.74	0.0019		42	0.2CaO=44%, MgO=16%		1009
	20	0.50	1.44	0.80	0.0011	0.0007	0.0001	0.75	0.0025		43	0.2CaO=41%, MgO=19%		985

【0083】表2に示すように、高炭素Cr含有Si脱酸鋼の化学組成がAl $\leq$ 0.003%、Ti $\leq$ 0.003%およびZr $\leq$ 0.0010%でSiが0.05~4.0%で、かつ介在物中のSiO<sub>2</sub>濃度が45%以上、Na<sub>2</sub>O濃度が0.5~10%である試料No.11~15の本発明例は疲労強度が1224MPa以上と大きな値が得られたが、No.16~20の比較例は疲労強度が1040MPa以下と比較的に小さな値しかえられなかった。

【0084】(実施例3)表3に中炭素Cr、Mo含有Si脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0085】

【表3】

14

No.	化学組成(質量%)						介在物組成(質量%)					疲労強度 (MPa)	
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	0	その他	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O		その他
本発明例	21	0.40	0.20	0.81	0.0004	0.0006	0.0001	1.10	0.0016	Mo:0.16%	82	1.4	780
	22	0.41	0.21	0.81	0.0006	0.0002	0.0001	1.11	0.0017	Mo:0.15%	76	3.6	760
	23	0.40	0.22	0.80	0.0003	0.0006	0.0002	1.09	0.0016	Mo:0.15%	71	8.4	794
	24	0.40	0.21	0.80	0.0011	0.0005	0.0001	1.10	0.0017	Mo:0.15%	45	2.7	628
	25	0.39	0.20	0.79	0.0005	0.0021	0.0001	1.08	0.0016	Mo:0.16%	57	6.4	654
比較例	26	0.41	0.22	0.80	0.0031	0.0004	0.0001	1.09	0.0018	Mo:0.16%	37	0.2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =28%	490
	27	0.41	0.20	0.81	0.0006	0.0032	0.0001	1.18	0.0019	Mo:0.15%	42	0.2Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =36%	480
	28	0.40	0.20	0.79	0.0007	0.0006	0.0011	1.12	0.0017	Mo:0.16%	34	0.1ZrO <sub>2</sub> =31%	477
	29	0.39	0.21	0.79	0.0005	0.0005	0.0001	1.09	0.0019	Mo:0.16%	39	0.2CaO=44%, MgO=17%	508
	30	0.40	0.20	0.80	0.0006	0.0004	0.0001	1.11	0.0024	Mo:0.15%	41	0.2CaO=33%, MgO=21%	490

【0086】表3に示すように、中炭素Cr、Mo含有Si脱酸鋼の化学組成がAl $\leq$ 0.003%、Ti $\leq$ 0.003%およびZr $\leq$ 0.0010%でSiが0.05~4.0%で、かつ介在物中のSiO<sub>2</sub>濃度が45%以上、Na<sub>2</sub>O濃度が0.5~10%である試料No.21~25の本発明例は疲労強度が628MPa以上と大きな値が得られたが、No.26~30の比較例は疲労強度が508MPa以下と比較的に小さな値しかえられなかった。

【0087】(実施例4)表4に中炭素Cr、Mo、Ni含有Si脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0088】

【表4】

No.	化学組成(質量%)										介在物組成(質量%)		疲労強度 (MPa)
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	O	その他	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	その他	
31	0.18	0.25	0.80	0.0009	0.0006	0.0001	1.15	0.0016	Mo:0.15%, Ni:0.03%	80	1.4		780
32	0.20	0.24	0.81	0.0006	0.0002	0.0001	1.11	0.0017	Mo:0.15%, Ni:0.03%	77	3.3		760
33	0.19	0.26	0.80	0.0002	0.0005	0.0002	1.14	0.0016	Mo:0.15%, Ni:0.03%	72	7.8		794
34	0.20	0.28	0.80	0.0021	0.0005	0.0002	1.14	0.0017	Mo:0.15%, Ni:0.03%	49	2.1		609
35	0.18	0.25	0.79	0.0005	0.0011	0.0001	1.13	0.0017	Mo:0.16%, Ni:0.03%	56	5.6		655
36	0.19	0.22	0.80	0.0034	0.0004	0.0001	1.14	0.0019	Mo:0.15%, Ni:0.03%	37	0.2	Al2O <sub>3</sub> =28%	490
37	0.18	0.24	0.80	0.0006	0.0035	0.0001	1.18	0.0019	Mo:0.15%, Ni:0.04%	42	0.2	Al2O <sub>3</sub> =36%	480
38	0.18	0.25	0.79	0.0007	0.0006	0.0012	1.12	0.0019	Mo:0.15%, Ni:0.03%	34	0.1	ZrO <sub>2</sub> =31%	477
39	0.18	0.26	0.79	0.0005	0.0005	0.0001	1.15	0.0018	Mo:0.16%, Ni:0.03%	39	0.2	CaO=44%, MgO=19%	508
40	0.18	0.24	0.80	0.0003	0.0003	0.0001	1.14	0.0025	Mo:0.15%, Ni:0.03%	41	0.1	CaO=43%, MgO=19%	470

【0089】表4に示すように、同脱酸鋼の化学組成が  $Al \leq 0.003\%$ 、 $Ti \leq 0.003\%$  および  $Zr \leq 0.0010\%$  で  $Si$  が  $0.05 \sim 4.0\%$  で、かつ介在物中の  $SiO_2$  濃度が  $45\%$  以上、 $Na_2O$  濃度が  $0.5 \sim 10\%$  である試料No.31～35の本発明例は疲労強度が  $609MPa$  以上と大きな値が得られたが、No.36～40の比較例は疲労強度が  $508MPa$  以下と比較的に小さな値しかえられなかった。

【0090】(実施例5) 表5に低炭素Cr系ステンレスSi脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0091】

【表5】

No.	化学組成(質量%)										介在物組成(質量%)		疲労強度 (MPa)
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	O	その他	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	その他	
41	0.10	0.25	0.30	0.0009	0.0007	0.0001	17.00	0.0044		74	1.4		360
42	0.10	0.24	0.31	0.0009	0.0006	0.0001	17.10	0.0033		78	3.3		367
43	0.10	0.25	0.30	0.0010	0.0005	0.0002	17.20	0.0038		70	7.8		371
44	0.10	0.25	0.31	0.0027	0.0005	0.0002	17.00	0.0048		47	1.8		330
45	0.10	0.26	0.32	0.0009	0.0005	0.0001	17.10	0.0040		49	5.6		338
46	0.10	0.25	0.30	0.0037	0.0004	0.0001	17.10	0.0051		38	0.2	Al2O <sub>3</sub> =33%	310
47	0.10	0.24	0.31	0.0008	0.0038	0.0001	17.20	0.0045		41	0.2	Ti2O3=41%	309
48	0.10	0.25	0.31	0.0012	0.0006	0.0012	17.10	0.0044		34	0.1	ZrO <sub>2</sub> =28%	295
49	0.10	0.24	0.31	0.0011	0.0008	0.0001	17.00	0.0049		40	0.2	CaO=40%, MgO=27%	311
50	0.10	0.25	0.32	0.0011	0.0007	0.0001	17.20	0.0031		43	0.1	CaO=44%, MgO=19%	300

【0092】表5に示すように、同脱酸鋼の化学組成が  $Al \leq 0.003\%$ 、 $Ti \leq 0.003\%$  および  $Zr \leq 0.0010\%$  で  $Si$  が  $0.05 \sim 4.0\%$  で、かつ介在物中の  $SiO_2$  濃度が  $45\%$  以上、 $Na_2O$  濃度が  $0.5 \sim 10\%$  である試料No.41～45の本発明例は疲労強度が  $330MPa$  以上と大きな値が得られたが、No.3

6～40の比較例は疲労強度が  $311MPa$  以下と比較的に小さな値しかえられなかった。

【0093】(実施例6) 表6に低炭素Cr-Ni系ステンレスSi脱酸鋼の化学組成および介在物の化学組成と疲労強度との関係を示す。

【0094】

【表6】

No.	化学組成(質量%)										介在物組成(質量%)			疲労強度 (MPa)
	C	Si	Mn	Al	Ti	Zr	Cr	O	その他		SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	その他	
本発明例	51	0.082	0.25	0.41	0.0009	0.0008	0.0001	19.00	0.0038	Ni:8.3%	75	1.4		430
	52	0.083	0.26	0.44	0.0008	0.0008	0.0001	19.20	0.0041	Ni:8.3%	78	3.3		440
	53	0.084	0.25	0.40	0.0010	0.0005	0.0002	19.00	0.0037	Ni:8.3%	70	7.8		415
	54	0.082	0.23	0.04	0.0021	0.0005	0.0002	19.00	0.0047	Ni:8.3%	51	1.8		356
	55	0.085	0.25	0.40	0.0009	0.0012	0.0001	19.10	0.0035	Ni:8.3%	49	5.6		361
比較例	56	0.082	0.26	0.40	0.0036	0.0004	0.0001	19.10	0.0052	Ni:8.3%	38	0.2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =28%	300
	57	0.084	0.24	0.42	0.0011	0.0031	0.0001	19.00	0.0047	Ni:8.3%	41	0.2	Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> =38%	302
	58	0.085	0.26	0.43	0.0012	0.0006	0.0014	19.20	0.0049	Ni:8.3%	34	0.1	ZrO <sub>2</sub> =28%	295
	59	0.081	0.25	0.40	0.0017	0.0008	0.0001	19.00	0.0053	Ni:8.3%	40	0.2	CaO=42%, MgO=18%	311
	60	0.082	0.25	0.41	0.0014	0.0007	0.0001	19.10	0.0082	Ni:8.3%	41	0.1	CaO=39%, MgO=21%	302

10

【0095】表6に示すように、同脱酸鋼の化学組成が  $Al \leq 0.003\%$ 、 $Ti \leq 0.003\%$  および  $Zr \leq 0.0010\%$  で  $Si$  が  $0.05 \sim 4.0\%$  で、かつ介在物中の  $SiO_2$  濃度が  $45\%$  以上、 $Na_2O$  濃度が  $0.5 \sim 10\%$  である試料No.51～55の本発明例は疲労強度が  $356 \text{ MPa}$  以上と大きな値が得られたが、No.56～60の比較例は疲労強度が  $311 \text{ MPa}$  以下と比較的に小さな値しかえられなかった。

【0096】

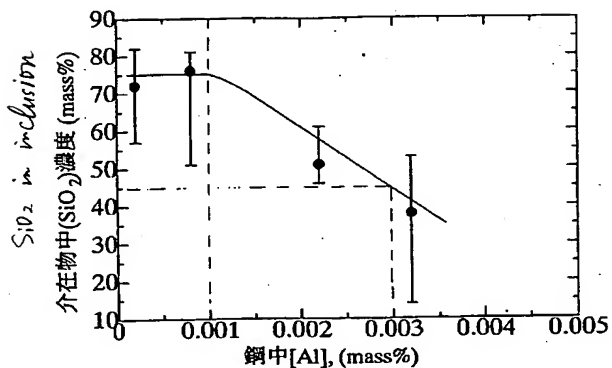
【発明の効果】本発明の  $Si$  脱酸鋼は、従来の鋼と比較して、有害な大型介在物が少なく、しかも残留した介在物も延性のある介在物であり、かつその介在物は微細に分散されたものであり、今までにない疲労強度に優れた鋼種である。

【図面の簡単な説明】

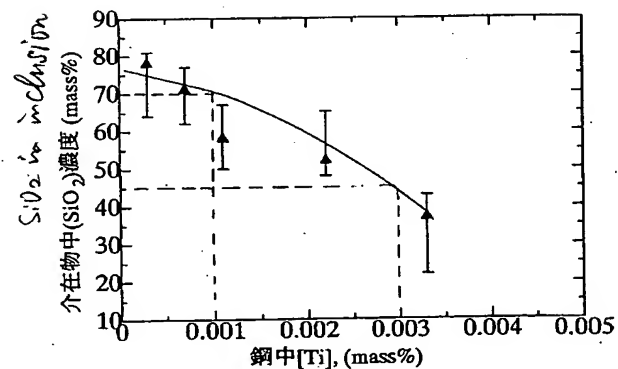
【図1】鋼中の  $[Al]$  濃度と介在物中の  $(SiO_2)$  濃度との関係を示すグラフである。

【図2】鋼中の  $[Ti]$  濃度と介在物中の  $(SiO_2)$  濃度との関係を示すグラフである。

【図1】



【図2】



濃度との関係を示すグラフである。

【図3】鋼中の  $[Zr]$  濃度と介在物中の  $(SiO_2)$  濃度との関係を示すグラフである。

【図4】鋼中の  $[Si]$  濃度と介在物中の  $(SiO_2)$  濃度との関係を示すグラフである。

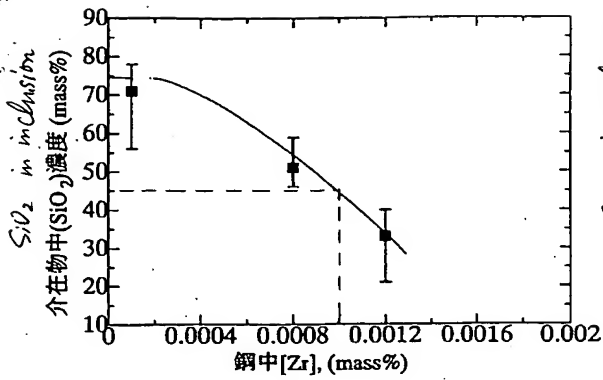
【図5】鋼中の  $[Si]$  濃度と介在物中の  $(Na_2O)$  濃度との関係を示すグラフである。

【図6】圧延方向断面における介在物の幅の大きさとその度数分布との関係を示すグラフである。

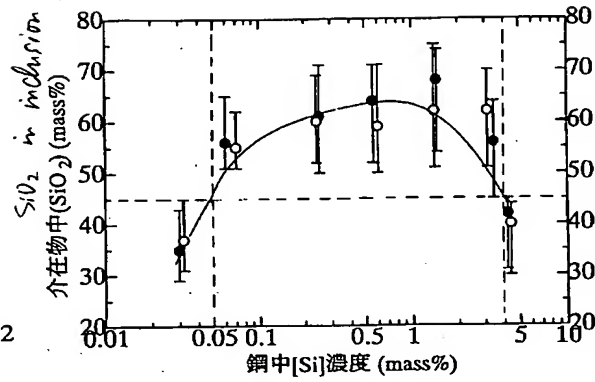
【図7】介在物中の  $(Na_2O)$  濃度をパラメータとした圧延方向断面における介在物の幅の大きさとその度数分布との関係を示すグラフである。

【図8】 $CaO: 33 \sim 40\%$ 、 $SiO_2: 33 \sim 40\%$ 、 $Al_2O_3: 2 \sim 5\%$ 、 $MgO: 12 \sim 15\%$ 、残部に  $CaF_2: 2 \sim 5$  と不可避免的に含まれる  $FeO$ 、 $MnO$  およびその他不純物を含有するスラグ中の  $Na_2O$  濃度と介在物中の  $Na_2O$  濃度との関係を示すグラフである。

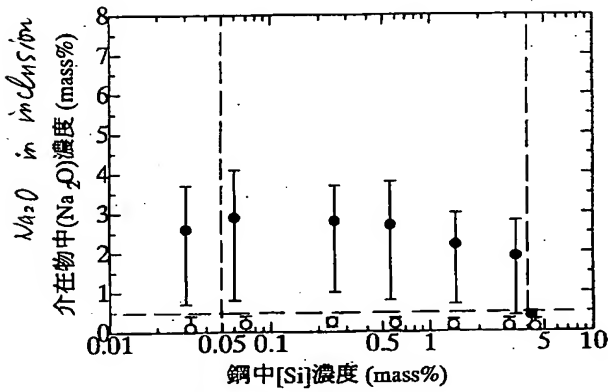
【図3】



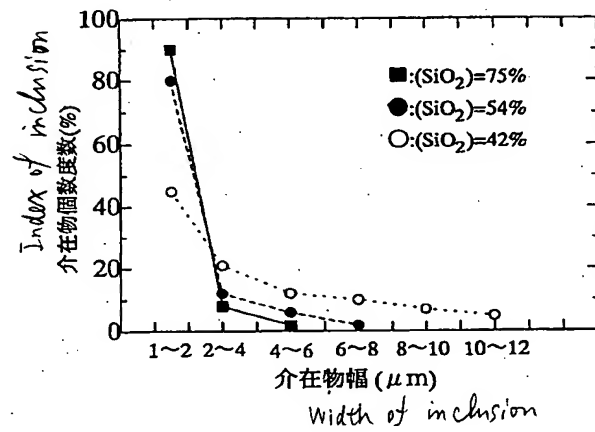
【図4】



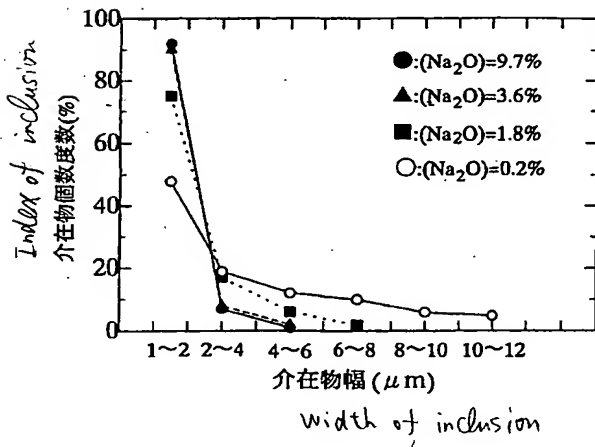
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

